

Efek Paparan Gelombang Elektromagnetik Handphone terhadap Kadar Glukosa Darah

Inaz Kemala Dewi¹, Anggraeni Janar Wulan²

¹Program Studi Pendidikan Dokter, Fakultas Kedokteran, Universitas Lampung

²Bagian Anatomi, Fakultas Kedokteran, Universitas Lampung

Abstrak

Global System for Mobile Communications (GSM) merupakan salah satu jaringan telepon yang paling sering digunakan. Padahal, tingkat radiasi yang dipancarkan oleh GSM lebih tinggi dibanding jaringan telepon yang lain. Sejumlah penelitian di dunia telah membuktikan bahwa gelombang elektromagnetik yang dipancarkan oleh *handphone* memiliki pengaruh terhadap tubuh manusia. Pengaruh yang ditimbulkan meliputi perubahan struktur mikroskopis maupun fungsional termasuk perubahan secara biokimiawi. Beberapa penelitian membuktikan bahwa gelombang elektromagnetik dapat mengakibatkan terganggunya pengaturan metabolisme glukosa dalam tubuh. Mekanisme yang menyebabkan hal tersebut adalah mekanisme stres. Stresor dari gelombang elektromagnetik akan mengaktifkan *hypothalamus-pituitary-adrenal (HPA) axis*, yaitu mengakibatkan hipotalamus mensekresi *corticotropin-releasing hormone (CRH)* dan *arginine vasopressin (AVP)*. Hormon CRH akan menstimulasi hipofisis anterior untuk mensekresi *adrenocorticotropin hormone (ACTH)*. Kemudian ACTH akan menstimulasi korteks adrenal untuk mensekresi kortisol. Kortisol akan memacu peningkatan glukoneogenesis dan resisten insulin. Lebih jauh lagi, glukoneogenesis dan resisten insulin ini akan mengakibatkan peningkatan kadar glukosa darah. Simpulan: Paparan gelombang elektromagnetik dari *handphone* dapat meningkatkan kadar glukosa darah.

Kata kunci: Gelombang elektromagnetik, Glukosa, GSM, Handphone, Stres

Effects of Handphone Electromagnetic Wave Exposure on Blood Glucose Level

Abstract

Global System for Mobile Communications (GSM) is one of the most frequently used telephone network. In fact, the level of radiation emitted by GSM is higher than other telephone network. A number of studies in the world have proved that electromagnetic waves emitted by mobile phones have an influence on the human body. The effect include changes in the microscopic structure and function, including biochemical changes. Several studies have shown that electromagnetic waves can lead to disruption in the body's regulation of glucose metabolism. The mechanisms that cause this is the mechanism of stress. Stressors of electromagnetic waves would activate the hypothalamic-pituitary-adrenal (HPA) axis, which resulted in the hypothalamus secrete corticotropin-releasing hormone (CRH) and arginine vasopressin (AVP). CRH hormone stimulates the anterior pituitary to secrete adrenocorticotropin hormone (ACTH). Then ACTH stimulates the adrenal cortex to secrete cortisol. Cortisol will spur increased gluconeogenesis and insulin resistance. Furthermore, gluconeogenesis and insulin resistance will result in an increase in blood glucose levels. Conclusions: Exposure to electromagnetic waves from mobile phones can increase blood glucose levels.

Keywords: Electromagnetic Wave, Glucose, GSM, Handphone, Stress

Korespondensi: Inaz Kemala Dewi, alamat Jalan Bumi Manti No. 74 Kel. Kampung Baru Kec. Kedaton Bandar Lampung, HP 081220106544, email inazkemaladewi@gmail.com

Pendahuluan

Jumlah pengguna *handphone* di dunia setiap tahun selalu meningkat. Menurut Statista (2015), salah satu negara dengan peningkatan pengguna *handphone* yang pesat yaitu China. Pada April 2014, pengguna *handphone* di China mencapai 1,25 milyar pengguna. Kurang dari satu tahun, pada Februari 2015 sekitar 1,29 milyar pengguna *handphone* terdaftar di China.¹ Penggunaan *handphone* telah mengenai semua kalangan masyarakat dan tingkatan usia. Tidak hanya kalangan orang dewasa saja yang menggunakan *handphone* saat ini, bahkan

sudah tidak asing lagi anak-anak menggunakan *handphone*. Salah satu survey di sebuah sekolah swasta di Bekasi menunjukkan dari 57 orang anak kelas 4 sampai 6 berusia 9 sampai 13 tahun, hanya 1 orang anak saja yang tidak menggunakan *handphone*, selebihnya menggunakan *handphone* dengan berbagai macam merek.²

Global System for Mobile Communications (GSM) dan *Code Division Multiple Access (CDMA)* merupakan dua teknologi komunikasi generasi kedua (2G) yang paling sering digunakan oleh masyarakat.³ *Global System for Mobile Communications*

(GSM) terhitung sebagai jaringan telepon utama di dunia. Telepon GSM umumnya beroperasi pada setengah dari keluaran radiasi maksimumnya, sedangkan telepon CDMA beroperasi hanya sedikit dari keluaran radiasi maksimalnya.⁴ Telepon seluler GSM memiliki efek yang lebih besar pada otak dibandingkan dengan telepon seluler CDMA.³

Pemberian paparan medan elektromagnetik sebesar 50 Hz empat jam sehari selama enam minggu pada tikus jantan menunjukkan perubahan pada pankreas secara mikroskopis. Hasil penelitian ini menunjukkan berkurangnya ukuran islet pankreas.⁵ Di sisi lain, Paras *et al.* (2014) menunjukkan paparan medan elektromagnetik berfrekuensi tinggi sebesar 1,9 GHz selama 30 hari pada tikus Wistar mengakibatkan peningkatan jumlah, volume, densitas, dan rasio nukleositoplasmik sel beta pankreas.⁶ Pada penelitian Ayeni (2011), menunjukkan perubahan secara fungsional dimana terdapat peningkatan denyut jantung sekitar 1,4% pada subyek penelitian setelah didekatkan dengan telepon GSM dalam mode vibrasi.⁷ Dan lebih jauh lagi, gelombang elektromagnetik menimbulkan perubahan secara biokimiawi di mana pada penelitian yang dilakukan oleh Sedghi *et al.* (2006) pemberian paparan medan magnetik sebesar 50 Hz selama 1, 2 dan 4 jam selama 5 hari berturut-turut pada guinea pig jantan menunjukkan penurunan kadar lipid total, kolesterol, trigliserida.⁸

Pada penelitian yang dilakukan oleh Mahdavi *et al.* (2014), pemberian paparan medan elektromagnetik sebesar 1 Hz dan 5 Hz dengan menggunakan *Extremely Low Frequency Electromagnetic Fields* (ELF-EMF) Generator pada tikus Wistar jantan selama dua jam setiap hari selama 21 hari dapat meningkatkan kadar *adrenocorticotropin hormone* (ACTH) plasma. Temuan ini mengindikasikan bahwa sistem stres otak teraktivasi setelah paparan medan dan dapat didalilkan bahwa *corticotropin releasing factor* (CRF) dilepaskan dari sumbernya (sel-sel magnoselular nukleus paraventricular hipotalamus).⁹ Menurut Radon *et al.* (2001)¹⁰, penelitian epidemiologi telah mendokumentasikan bahwa *electromagnetic fields* (EMF) menyebabkan peningkatan kortisol.

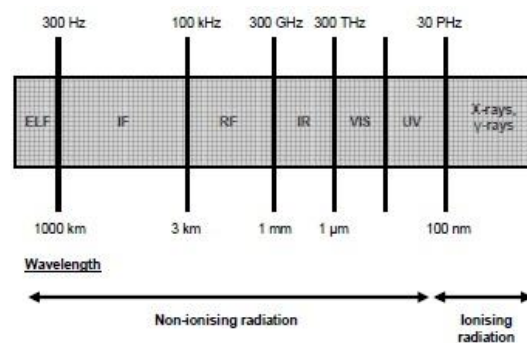
Tulisan ini merupakan review dari berbagai sumber jurnal dan penelitian terbaru

yang relevan seiring dengan meningkatnya penggunaan *handphone* dan untuk mengetahui pengaruh efek samping gelombang elektromagnetik *handphone* terhadap kadar glukosa darah.

Isi

Gelombang elektromagnetik merupakan aliran energi dalam bentuk medan elektrik (E) dan magnetik (M). Spektrum elektromagnetik dapat dibagi menjadi radiasi non-pengion dan pengion; tergantung pada kemampuan untuk mengionisasi molekul; hanya radiasi pengion yang memiliki energi foton yang cukup untuk memecah ikatan-ikatan kimia.¹¹ Radiasi pengion contohnya sinar-X dan sinar gamma, sedangkan radiasi non-pengion seperti medan magnet dan elektrik, gelombang radio, berkas radio-frekuensi termasuk microwave, infrared, ultraviolet, dan radiasi yang tampak.¹² Spektrum radiasi non-pengion lebih jauh lagi dapat dibagi menjadi beberapa kategori berdasarkan frekuensi atau panjang gelombang (Gambar 1):¹¹

1. *Extremely Low Frequency* (ELF) *Electromagnetic Fields* (EMF)
2. *Intermediate Frequency* (IF) *Electromagnetic Fields* (EMF)
3. *Radiofrequency* (RF) *Electromagnetic Fields* (EMF)
4. *Infrared* (IR) *Radiation*
5. *Visible* (VIS) *Light*
6. *Ultraviolet* (UV) *Radiation*



Gambar 1. Spektrum Gelombang Elektromagnetik¹¹

Ponsel atau *handphone* merupakan salah satu sumber *Radiofrequency* (RF) *Electromagnetic Fields* (EMF). Salah satu sistem telepon seluler (ponsel) yang paling sering digunakan oleh masyarakat, GSM beroperasi pada RF-EMW 900 MHz dan 1800 MHz. Walaupun kadar energi yang rendah dari

radiasi non-ionisasi tidak bisa memecah ikatan kovalen pada molekul biologis, tubuh manusia berkaitan sifat elektrisnya seperti permitivitas dan konduktivitas mampu menerima dan menginduksi medan elektrik dan bagian tertentu di dalam jaringan.¹³ Interaksi antara radiasi elektromagnetik dan organisme hidup melalui dua mekanisme, yaitu efek thermal dan efek non-thermal.¹⁴ Efek non-thermal dapat mengganggu secara luas berbagai jalur metabolisme. Efek tersebut sering dihubungkan dengan trauma membran plasma, efek transduksi sinyal selular, gangguan eksitabilitas sistem saraf, neuroendokrin dan trauma sistem imun.^{15,16} Efek non-thermal dari EMF sejauh ini belum diteliti secara dalam, walaupun banyak mekanisme yang telah dipertimbangkan, seperti contohnya modulasi kanal ion membran untuk Na^+ dan K^+ ,¹⁷ perubahan homeostasis Ca^{++} sel,¹⁸ peningkatan pada eksitabilitas sel,¹⁹ atau aktivasi respon stres selular.^{20,21}

Stres dideskripsikan sebagai keadaan yang mengancam homeostasis atau ketidakseimbangan.²² Stresor adalah suatu keadaan yang menimbulkan respon stres.²³ Sistem stres mengkoordinasikan respon adaptif organisme terhadap stresor dari berbagai jenis. Komponen utama sistem stres yaitu *corticotropin-releasing hormone* (CRH) dan *locus ceruleus-norepinephrine* (LC/NE)-*automatic system* dan efektor-efektor perifer, *the pituitary-adrenal axis*, dan sistem otonom.²²

Corticotropin-releasing hormone (CRH) merupakan salah satu hormon yang dihasilkan di hipotalamus.²⁴ Pada keadaan tidak terpapar stres, baik CRH dan *arginine vasopressin* (AVP) disekresi pada sistem portal mengikuti irama sirkadian dengan frekuensi sekitar dua sampai tiga episode sekresi per jam.²⁵ Di bawah keadaan istirahat, amplitudo pengeluaran CRH dan AVP meningkat pada jam-jam awal di pagi hari, yang akhirnya menghasilkan peningkatan sekresi ACTH dan kortisol.^{26,27} Variasi diurnal ini diganggu oleh perubahan cahaya, jadwal makan, dan aktivitas dan dikacaukan oleh stres.²² Ketika hipotalamus terpicu oleh stresor, CRH dan AVP disekresi, mengakibatkan baik produksi ACTH dari hipofisis anterior dan aktivasi neuron-neuron noradrenergik dari sistem LC/NE di otak.²⁸

Hipofisis anterior terbagi menjadi tiga bagian, yaitu pars distalis, pars tuberalis dan pars intermedia. Pars distalis terdiri dari dua kelompok sel yaitu kromofil dan kromofob. Kromofil adalah sel sekretoris dengan hormon yang disimpan dalam granula sitoplasma. Kromofil juga disebut sebagai basofil dan asidofil, masing-masing sesuai afinitasnya terhadap pulasan basa dan asam. Asidofil mencakup sel somatotropik dan mammotropik, sedangkan sel basofilik meliputi sel gonadotropik, kotikotropik dan sel tiotropik.²⁹ Sel-sel kromofob tidak berpartisipasi pada sintesis hormon, melainkan lebih menjadi prekursor sel yang memproduksi hormon.³⁰ CRH dari hipotalamus menstimulasi sekresi ACTH oleh sel-sel kortikotropik.²⁴

Korteks adrenal dibagi menjadi tiga zona: zona glomerulosa, zona fasciculata dan zona retikularis. Sekresi ACTH dari hipofisis anterior menstimulasi zona fasciculata dan retikularis untuk mensekresi hormon glukokortikoid, terutama kortisol.^{31,32} Glukokortikoid memiliki beberapa efek, yaitu pemecahan protein, pembentukan glukosa, lipolisis, resistansi terhadap stres, efek anti-inflamasi dan depresi respon imun.

Kortisol merupakan salah satu indikator stres dan telah dikenali bahwa kadarnya meningkat pada manusia yang terpapar dalam jangka waktu yang lama terhadap EMF.³² Sekresi kortisol oleh ACTH membantu memelihara kadar glukosa dengan menstimulasi glukoneogenesis dan menyebabkan resistensi insulin adiposa dan perifer.³³ Glukoneogenesis merupakan pembentukan glukosa yang terutama dari laktat dan asam amino selama keadaan puasa.³⁴ Sebagian gliserol dari trigliserida, asam laktat, dan asam amino tertentu bisa dikonversi di hati menjadi glukosa. Proses di mana glukosa dibentuk dari sumber non-kabohidrat disebut glukoneogenesis. Glukoneogenesis distimulasi oleh kortisol, hormon glukokortikoid utama dari korteks adrenal, dan oleh glukagon dari pankreas. Di samping itu, kortisol menstimulasi pemecahan protein menjadi asam amino, kemudian memperbanyak jumlah asam amino yang tersedia untuk glukoneogenesis.²⁴

Selain hormon glukokortikoid, beberapa hormon lain juga berperan dalam metabolisme glukosa, yaitu epinefrin, norepinefrin, *growth hormone*, glukagon dan insulin. Epinefrin

dilepaskan oleh medulla adrenal sebagai respon terhadap hipoglikemia, dan sebagai bagian dari persiapan untuk latihan. Norepinefrin dilepaskan dari neuron simpatis. Kedua katekolamin tersebut memiliki peran dalam memelihara kadar glukosa selama latihan, dan dalam keadaan yang berhubungan dengan stres. Katekolamin menstimulasi pelepasan glukagon dan menghambat pelepasan insulin, menyebabkan penurunan rasio insulin : glukagon dan juga memiliki efek tidak langsung terhadap stimulasi metabolisme glukosa di hati. Epinefrin juga memiliki efek langsung pada stimulasi glukoneogenesis hati, glikolisis otot, dan pemecahan glikogen di kedua jaringan.³⁵ Aktivasi fosforilase di hati oleh katekolamin terjadi via reseptor β -adrenergik, di mana akan meningkatkan cAMP intraselular dan reseptor α -adrenergik, di mana akan meningkatkan Ca^{2+} intraselular. Kemudian output glukosa hepatik meningkat, menghasilkan hiperglikemia. Di otot, fosforilasi juga diaktifkan via cAMP dan dapat juga via Ca^{2+} , tetapi glucose 6-phosphate yang dibentuk bisa dikatabolis hanya menjadi piruvat karena tidak adanya glucose 6-phosphatase. Sejumlah besar piruvat dikonversi menjadi laktat, kemudian berdifusi dari otot ke dalam sirkulasi. Laktat dioksidasi di hati menjadi piruvat dan dikonversi menjadi glikogen. Epinefrin dan norepinefrin juga membebaskan free fatty acid (FFA) ke dalam sirkulasi.³⁶

Hormon pertumbuhan atau *growth hormone* dilepas sebagai respon terhadap penurunan kadar glukosa plasma. Kerja hormon pertumbuhan berhubungan dengan peningkatan glukosa plasma berhubungan dengan stimulasi lipolisis dan penghambatan kerja insulin.³⁵ Hormon pertumbuhan memobilisasi FFA dari jaringan lemak, sehingga memicu ketogenesis. Hormon pertumbuhan menurunkan kadar glukosa ke dalam beberapa jaringan ("anti-insulin action"), meningkatkan output glukosa hepatik, dan menurunkan ikatan insulin ke jaringan.³⁶

Islet Langerhans merupakan sekelompok sel endokrin pankreas yang berisi empat tipe sel yang mensekresi hormon, yaitu sel alfa, sel beta, sel delta dan sel F. Dua jenis sel yang berperan dalam metabolisme glukosa darah yaitu sel alfa dan sel beta.^{24,35} Sel alfa yang berwarna merah berfungsi mensekresi glukagon.³⁰ Kerja utama glukagon yaitu untuk meningkatkan kadar glukosa darah ketika

kadarnya turun di bawah normal. Berikut merupakan regulasi sekresi glukagon:²⁴

1. Kadar glukosa yang rendah menstimulasi sekresi glukagon dari sel alfa Islet Langerhans.
2. Glukagon bekerja pada hepatosit untuk mempercepat konversi glikogen menjadi glukosa (glikogenolisis) dan meningkatkan pembentukan glukosa dari asam laktat dan asam amino tertentu (glukoneogenesis).
3. Sebagai hasilnya, hepatosit melepas glukosa ke dalam darah lebih cepat, dan kadar glukosa darah meningkat.
4. Jika glukosa darah terus meningkat, kadar glukosa darah yang tinggi menghambat pelepasan glukagon.

Sedangkan sel beta yang berwarna biru berfungsi mensekresi insulin.³⁰ Insulin bekerja pada berbagai jaringan tubuh, contohnya jaringan otot, adiposa dan hepar. Pada jaringan otot dan adiposa, insulin meningkatkan masukan glukosa ke jaringan tersebut. Glukosa memasuki sel-sel dengan difusi terfasilitasi atau, di usus dan ginjal dengan transport aktif sekunder dengan Na^+ .³⁶

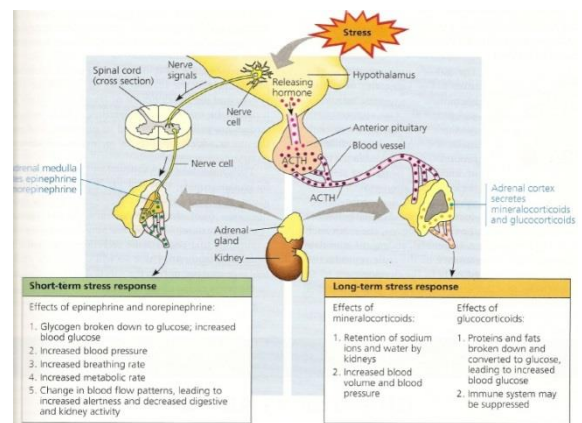
Untuk memulai efeknya pada sel target, insulin pertama-tama berikatan dengan reseptor membran dan mengaktifasi reseptor membran. Reseptor insulin merupakan kombinasi dari empat subunit yang disatukan oleh ikatan disulfida: dua subunit alfa yang terletak di luar membran sel dan subunit beta yang berpenetrasi melewati membran, yang menonjol ke dalam sitoplasma sel. Insulin berikatan dengan subunit alfa di luar sel, tetapi karena berikatan dengan subunit beta, bagian subunit beta yang menonjol ke dalam sitoplasma sel menjadi terfosforilasi. Autofosforilasi subunit beta reseptor mengaktifasi *tyrosine* kinase lokal, yang kemudian menyebabkan fosforilasi multipel enzim intraselular lainnya, yaitu *insulin-receptor substrates* (IRS). IRS yang diekspresikan di tiap jaringan memiliki tipe yang berbeda (contohnya IRS-1, IRS-2). Pada jalur ini, insulin mengarahkan perlengkapan metabolik intraselular untuk memproduksi efek yang diinginkan pada metabolisme karbohidrat, lemak dan protein. Efek akhir stimulasi insulin pada metabolisme glukosa yaitu dalam hitungan detik setelah insulin berikatan dengan reseptor membran,

membran dari sekitar 80% sel tubuh akan meningkatkan ambilan glukosa.³⁷ Di jaringan otot, adiposa, dan beberapa jaringan lainnya, insulin menstimulasi glukosa masuk ke dalam sel dengan meningkatkan jumlah transporter glukosa di membran sel. Transporter glukosa (GLUT) bertanggung jawab terhadap difusi terfasilitasi glukosa yang melewati membran sel. Terdapat tujuh jenis transporter glukosa yang berbeda, masing-masing diberi nama mulai dari GLUT 1-7. GLUT 4 merupakan transporter di jaringan otot dan adiposa yang distimulasi oleh insulin. GLUT 4 terletak dalam vesikel di sitoplasma sel yang sensitif insulin. Ketika reseptor insulin dari sel ini teraktivasi, *phosphatidylinositol 3-kinase* akan teraktivasi. Aktivasi dari *phosphatidylinositol 3-kinase* akan mengakibatkan vesikel berpindah secara cepat ke membran sel dan berfusi dengan membran sel, menyisipkan transporter ke dalam membran sel. Ketika kerja insulin berhenti, bagian membran yang berisi transporter berendositosis dan vesikel siap untuk paparan insulin selanjutnya.³⁶

Glukosa bekerja secara langsung pada sel beta pankreas untuk meningkatkan sekresi insulin. Glukosa memasuki sel beta lewat transporter GLUT 2 dan difosforilasi oleh glukokinase kemudian dimetabolisme menjadi piruvat di sitoplasma. Piruvat memasuki mitokondria dan dimetabolisme menjadi CO₂ dan H₂O lewat siklus asam sitrat dengan pembentukan ATP oleh fosforilasi oksidatif. ATP memasuki sitoplasma, di mana ATP menghambat *ATP-sensitive K⁺ channel*, mengurangi efluks K⁺. Kejadian ini akan mendepolarisasi sel beta, dan Ca²⁺ memasuki sel lewat *voltage-gated Ca²⁺ channel*. Influx Ca²⁺ menyebabkan eksositosis vesikel yang berisi granula sekretori yang berisi insulin yang siap lepas, menghasilkan sekresi insulin.³⁶ Pada keadaan stres, sekresi insulin meningkat. Menurut Hansei dan Henric (2010), sebagai faktor stres, *high frequency electromagnetic fields* (HF EMF) mempengaruhi sel beta dengan menginduksi sintesis dan pelepasan granula insulin.³⁸ Medan magnetik mempengaruhi sekresi insulin dengan menyebabkan modifikasi influx Ca²⁺ lewat kanal Ca²⁺.³⁹ Selain secara langsung EMF mempengaruhi sekresi insulin, EMF juga mempengaruhi peningkatan sekresi insulin melalui peningkatan glukosa darah. Pada penelitian Amara *et.al* (2006) menunjukkan paparan terhadap medan

magnetik menyebabkan peningkatan glukosa darah.⁴⁰ Seperti yang diketahui, kerja insulin membantu menurunkan kadar glukosa jika kadarnya tinggi.²⁴

Glukosa memiliki efek yang poten terhadap pertumbuhan massa sel beta yang menyebabkan sel beta hiperplasia dan hipertrofi.⁴¹ Prosedur yang secara kronik meningkatkan kadar glukosa darah direspon oleh sel beta dengan hipertrofi.³⁶ Pada penelitian Paras *et.al* (2014) menunjukkan peningkatan pada densitas volume sel beta pada hewan yang terpapar HF EMF dibanding dengan kelompok kontrol. Selain itu juga, paparan HF EMF menyebabkan penurunan pada permukaan sel beta dan peningkatan *nucleo-cytoplasmic ratio* pada sel beta.⁶ Kejadian berikut dipercaya dikarenakan sel beta tersebut bermultiplikasi lewat *self-duplication* dari sel beta yang ada.⁴² Lebih jauh lagi, penelitian tersebut mengindikasikan pertumbuhan sel beta (34,6 sel per potongan pankreas pada hewan yang terpapar dan 19,8 sel per potongan pankreas pada kelompok kontrol).⁶ Peningkatan jumlah sel beta diikuti dengan penurunan permukaan sel beta ketika paparan HF EMF mengindikasikan suatu proliferasi cepat.⁴²



Gambar 2. Pengaruh Stres Terhadap Kadar Glukosa Darah⁴³

Ringkasan

Penggunaan *handphone* yang sudah mendunia sekarang ini, ternyata mengakibatkan beberapa efek bagi tubuh manusia. Banyak peneliti-peneliti yang sudah menemukan berbagai efek gelombang elektromagnetik dari *handphone* terhadap kesehatan. Gelombang elektromagnetik yang dipancarkan oleh *handphone* dapat menimbulkan stres bagi tubuh manusia. Stres

tersebut dapat mengakibatkan teraktifasinya HPA-axis. Hipotalamus yang terpicu oleh stresor akan mensekresi CRH dan AVP. Sekresi CRH akan menstimulasi korteks adrenal untuk mensekresi kortisol.

Kortisol kemudian akan menimbulkan beberapa efek, salah satunya yaitu glukoneogenesis dan resisten insulin. Glukoneogenesis merupakan suatu keadaan di mana tubuh membentuk glukosa dengan memecah zat lain, yaitu asam amino dan laktat. Glukoneogenesis ini kemudian bisa menyebabkan peningkatan glukosa dalam darah. Ditambah lagi dengan efek resisten insulin yang akan menyebabkan sulitnya glukosa untuk memasuki sel sehingga banyak yang bersirkulasi dalam darah.

Simpulan

Gelombang elektromagnetik *handphone* mempengaruhi pengaturan kadar glukosa darah. Pengaruh tersebut diperlihatkan dengan terpicunya HPA-axis oleh stresor yang dihasilkan gelombang elektromagnetik. Yang pada akhirnya dapat mengakibatkan peningkatan glukosa darah.

Daftar pustaka

1. Number of mobile cell phone subscribers in China from March 2014 to March 2015 (in millions) [internet]. Jerman: Statista; 2015. Jerman: Statista; 2015 [diakses tanggal 14 Juni 2015]. Tersedia dari: <http://www.statista.com/>
2. Fauzi A. Data pengguna smartphone dan social media 2015 [internet];2015. [diakses tanggal 14 Juni 2015]. Tersedia dari: <http://lembing.com/>
3. Tyagi A, Duhan M, Bhatia D. Effect of mobile phone radiation on brain activity. IJSTM. 2011;2(2):1-5.
4. Lee M. Health effects of GSM vs CDMA [internet];2015. [diakses tanggal 29 Maret 2015]. Tersedia dari: <http://www.livestrong.com/>
5. Khaki AA, Ali-Hemmati A, Nobahari R. A study of the effects of electromagnetic field on islets of langerhans and insulin in rats. Crescent J Med & Biol Sci. 2015;2(1):1-5.
6. Paras S, Snjegota D, Manojlovic M, Matavulj M. Effect of high high frequency electromagnetic filed on beta cells of langerhans islets in pancreas of rats. Folia Medica. 2014;49(1):32-6
7. Ayeni AA, Braimoh KT, Ayeni OB. Effect of GSM phone radiation on human pulse rate (heartbeat rate). IJETCS. 2011;2(11):580-7.
8. Sedghi H, Zare S, Hayatgeibi H, Alivandi S, Ebadi AG. Biological effects of power frequency magnetic fields on serum biochemical parameters in guinea pigs. Pak. J. Biol. Sci. 2006;9(6):1083-7.
9. Mahdavi SM, Sahraei H, Yaghmaei P, Tavakoli H. Effects of electromagnetics radiation exposure on stress-related behaviors and stress hormones in male wistar rats. Biomol Ther. 2014;22(6):570-6.
10. Radon K, Parera D, Rose DM, Jung D, Vollrath L. No effects of pulsed radio frequency electromagnetic fields on melatonin, cortisol and selected markers of the immune system in man. Bioelectromagnetics. 2001;22:280-7.
11. Markkanen A. Effects of electromagnetic fields on cellular responses to agents causing oxidative stress and DNA [disertasi]. Finland: Kuopio University Library;2009.
12. Sivani S, Sudarsanam D. Impacts of radio-frequency electromagnetic field (RF-EMF) from cell phone towers and wиеless devices on biosystem and ecosystem – a review. Biol Med. 2012;4(4): 202-16.
13. Sysoev VN, Lukyanov GN, Serov IN. Electromagnetic influence on human health [internet]. 2013. [diakses tanggal 27 Maret 2015]. Tersedia dari: <http://www.airestech.com/>
14. Ferreri F, Curcio G, Pasqualetti P, Gennaro LD, Fini R, Rossini PM. Mobile phone emissions and human brain excitability. Annals Neurol. 2006;60(2):188–96.
15. Bhat MA. Effects of electromagnetic waves emitted by mobile phones on male fertility. Comp Engineering and Intelligent Systems. 2013;4(3)
16. Zecca L, Mantegazza C, Margonato V, Cerretelli P, Caniatti M, Piva F. Biological effects of prolonged exposure to ELF electromagnetic fields in rats. Bioelectromagnetics. 2006;19(1):57-66.
17. Cleary SF. Effects of radio-frequency radiation on mammalian cells and biomolecules in vitro. Dalam: Blank M,

- editor. Electromagnetic fields: biological interactions and mechanism. Washington, DC: American Chemical Society;1995.
18. Adey WR. Tissue interactions with non-ionizing electromagnetic fields. *Physiol. Rev.* 1981;61:435–514.
 19. Tattersal JE, Scott IR, Wood SJ, Nettell JJ, Bevir MK, Wang Z, et al. Effects of low intensity radiofrequency electromagnetic fields on electrical activity in rat hippocampal slices. *Brain Res.* 2001;904:43–53.
 20. Leszczynski D, Joenvaara S, Reivenen J, Kuokka R. Non-thermal activation of the hsp27/p38MAPK stress pathway by mobile phone radiation in human endothelial cell: molecular mechanism for cancer- and blood-brain barrier-related effects. *Differentiation.* 2002;70:120-129.
 21. Nylund R, Leszczynski D. Proteomics analysis of human endothelial cell line EA.hy926 after exposure to GSM 900 radiation. *Proteomics.* 2004;4:1359-1365.
 22. Tsigos C, Chrousos GP. Hypothalamic – pituitary – adrenal axis, neuroendocrine factors and stress. *J Psychosom Res.* 2002;53(4):865-71.
 23. Wiyono N, Aswin S, Harijadi. Hubungan Antara Tebal Lamina Pyramidalis CA1 Hippocampus Dengan Memori Kerja Pada Tikus (*Rattus norvegicus*) Pascastres Kronik. *JAI.* 2007;1:104 – 11.
 24. Tortora GJ, Derrickson B. Principles of anatomy physiology (12th Ed). USA: John Wiley & Sons, Inc; 2009.
 25. Engler O, Pham T, Fullenon MJ, Ooi G, Funder JW, Clarke IJ. Studies of the section of corticotropin releasing factor and arginine vasopressin into hypophyseal portal circulation of the conscious sheep. *Neuroendocrinology.* 1989;49:367 – 81.
 26. Horrocks PM, Jones AF, Ratcliffe WA, Holder G, White A, Holder R, et al. Patterns of ACTH and cortisol pulsatility over twenty-four hours in normal males and females. *Clin Endocrinol.* 1990;83: 127-34.
 27. Chrousos GP, Gold PW. A healthy body in a healthy mind – and vice versa – the damaging power of “uncontrollable” stress. *J Clin Endocrinol Metab.* 1998;83:1842-5.
 28. Guillems TG, Edwards L. Chronic stress and the HPA axis: Clinical assessment and therapeutic considerations. *Point Institute Nutraceutical Research.* 2010;9(2).
 29. Mescher AL. Histologi dasar junqueira: teks&atlas (Edisi 12). Jakarta: EGC; 2011.
 30. Kuehnel W. Color atlas of cytology, histology, and microscopic anatomy (4th Ed). New York: Thieme; 2003.
 31. Boron WF, Boulpaep EL. Medical physiology. USA: Elsevier Health Sciences; 2003.
 32. Vangelova K, Israel M, Velkovaand D, Ivanova M. Changes in secretion rates of stress hormones in medical staff exposed to electromagnetic radiation. *Environmentalist.* 2007;27:551-5.
 33. Gorczyńska E, Wegrzynowicz R. Glucose homeostasis in rats exposed to magnetic field. *Invest. Radiol.* 1991;26:1095-100.
 34. Aronoff SL, Berkowitz K, Shreiner B, Want L. Glucose metabolism and regulation: Beyond insulin and glucagon. *Diabetes Spectrum.* 2004;17(3):183-4.
 35. Brandt M. Endocrine Core Notes. California : University California of Irvine Press; 2009.
 36. Barrett KE, Barman SM, Boitano S, Brooks HL. Ganong’s review of medical physiology (23rd Ed). New York: Mc Graw Hill Companies, Inc; 2010.
 37. Guyton AC, Hall JE. Textbook of medical physiology (11th Ed). Pennsylvania: Elsevier Inc; 2006.
 38. Halsei R, Henric J. Clinical impressions and speculations on the use of high frequency pulsed EMF. *J Clinic Investi.* 2010;68:14-22.
 39. Schwartz JL, House DE, Mealing GA. Exposure of frog hearts to CW or amplitude modulated VHF fields: selective efflux of calcium ions at 16 Hz. *Bioelectromagnetics.* 1990;11:349-58.
 40. Amara S, Abdelmelek H, Ben Salem M, Abidi R, Sakly M. Effect of static magnetic field exposure on hematological and biochemical parameters in rats. *Braz Arch Biol Techn.* 2006;49(6):889-95.
 41. Bernad-Kargar C, Ktorza A. Endocrine pancreas plasticity under physiological and pathological conditions. *Diabetes.* 2001;50:S30-S35.
 42. Orci L, Unger RH. Functional subdivision of islets of Langerhans and possible role of D-cells. *Lancet.* 1975;2:1243-44.

43. Endocrine system part 2: glucose regulation [internet]; 2015. [diakses tanggal 14 Juni 2015]. Tersedia dari: <http://www.slideshare.net/>